

学位論文要旨

サッカーにおけるグラウンダーボールの
インサイドキックに関するバイオメカニクス的研究

房野 真也

【目次】

第1章 研究の背景と目的	
第1節 緒言	… 1
第2節 先行研究の検討	… 1
第3節 問題の所在と研究目的	… 1
第2章 静止ボールとグラウンダーボールのキック動作の比較	
第1節 研究目的	… 2
第2節 研究方法	… 2
第3節および第4節 結果および考察	… 3
第3章 右ボールと左ボールのキック動作の比較	
第1節 研究目的	… 5
第2節 研究方法	… 5
第3節および第4節 結果および考察	… 6
第4章 右ボールと右後方ボールのキック動作の比較	
第1節 研究目的	… 9
第2節 研究方法	… 9
第3節および第4節 結果および考察	… 9
第5章 総合考察	
第1節および第2節 本研究の成果と意義および今後の課題	…11
文献	

第 1 章 研究の背景と目的

第 1 節 緒言

サッカーのキック動作には、さまざまな種類があるが、その中でも、インサイドキックはキック指導において最初に取り上げられる重要なキック動作である。また、組織的な守備によって攻撃側にとっては空間的・時間的な余裕がない現代サッカーにおいて(沖原ら,2000)、正確にキックできるインサイドキックの技術を高めることは重要である。

スポーツにおける動作については、バイオメカニクス的手法によって定量的に解析することで、技術習得に効果的で安全な指導方法を検討することが可能となっている。そのため、インサイドキックのキック動作の特性を明らかにできれば、現場でより有用性の高いインサイドキックの技術指導に有用な知見を提供するものと考えられる。

第 2 節 先行研究の検討

これまでサッカーのキック動作に関する研究は、運動そのものを研究する運動学であるキネマティクス的手法を用いた研究と、運動の原因について研究する運動力学であるキネティクス的手法を用いた研究がある(布目ら,1997; Nunome et al.,2002; 下野ら,2005; 下野ら,2007; Shinkai et al.,2009; 尾崎ら,2010)。しかし、これらの研究は、静止したボール(以下、静止ボールと略)に対するキック動作が分析対象として用いられている。つまり、動くボールを対象とはしていないので、必ずしも実際のキック動作と同じとは考えられない。

第 3 節 問題の所在と研究目的

本研究では、地面上を転がっているボール(以下、グラウンダーボールと略)のインサイドキックの動作の特性を、キネマティクス的手法により明らかにすることを目的とした。前後左右、様々な角度から地面上を転

がってくるボールに対するキック動作を明らかにすることで，サッカー指導の一助としたい。

第 2 章 静止ボールとグラウンダーボールのキック動作の比較

第 1 節 研究目的

静止ボールと右ボールのキック動作を比較することにより，グラウンダーボールのキック動作を検討した。

第 2 節 研究方法

被験者は，A 大学リーグ上位チームに所属する男子大学サッカー部員 12 名であった。実験は，一定速度でボールを供給するため，2 本のレールからなる高さ 1.5m のボール供給器を自作し，Fig.1 の設定で行った。被験者には，利き脚のインサイドで 7m 前方のゴール中央に設置した 1m 四方の的を狙って蹴るように指示し，静止ボールとグラウンダーボールともに，キックされたボールが的に当たった試技が少なくとも 3 試技になるまで実験を行った。実験は，光学モーションキャプチャシステムを用い，同期した赤外線カメラ 6 台(サンプリングは 120fps)によって撮影された。身体とボールにそれぞれリファレンスマーカー(直径 25mm)を貼付し，それぞれのカメラ画像上の身体部位を，解析ソフトを使用して，3 次元の座標データ(x, y, z)に変換した。測定項目は，腰回旋角度，蹴り脚股関節角度，蹴り脚膝関節角度・角速度，蹴り脚股関節内外転角度，ボール初速度，蹴り足スイング速度，動作時間(軸脚接地時点(以下，L-on と略)からボールインパクト(以下，Imp と略)までの時間)であった。時系列変量は，L-on から Imp までの時間を 100%として規格化した。

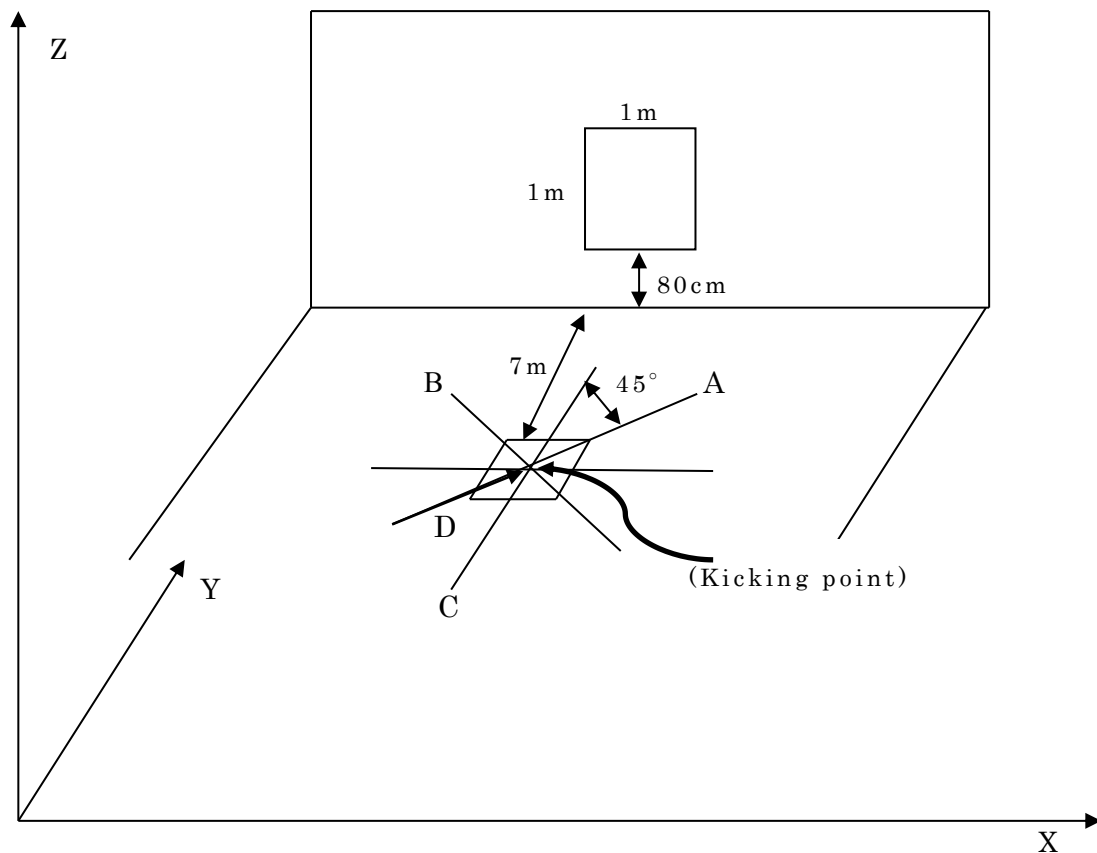


Fig. 1 Pattern diagram of experiment

A : Starting point of right-side ball

B : Starting point of left-side ball

C : Starting point of right-backward ball

D : Approach direction of subjects

第 3 節 および 第 4 節 結果 および 考察

本研究の静止ボールのキック動作を先行研究 (Levanon and Dapena, 1998) と比較した結果, 関節角度変化パターンは総じて類似していた. そこで, グラウンダーボールのキック動作の特徴を考察するために, 静止ボールのキック動作を基準動作として比較した.

1. 動作時間，ボール初速度，スイング速度

静止ボールとグラウンダーボールのキック動作間において，動作時間とボール初速度について有意な差は認められなかったが，スイング速度については，グラウンダーボールは静止ボールより有意に遅かった．これは，グラウンダーボールのキック動作では，ボールを正確に捉える必要性とともに，転がってくるボールに運動量があり，その運動量を利用して蹴るためであったと考えられた．

2. 蹴り脚のスイングに関する動き

蹴り脚股関節角度の結果から，グラウンダーボールのキック動作は，力強く大きく振り上げて大きく蹴り上げるような大振りのキック動作ではなく，小さく振り上げて小さく蹴り上げていた．つまり，この動作はコンパクトであり，コントロール重視のキック動作を行ったと考えられた．また，蹴り脚膝関節角度・角速度の結果から，グラウンダーボールのキック動作は，キックの予備動作であるバックスイング(大腿部を後方に引く，膝関節を屈曲させる)を小さくし，膝関節の伸展力を活用せずキック動作を行っていた．

本研究では，グラウンダーボールの蹴り脚のスイングに関する動きは，静止ボールに比べてコンパクトになる傾向を示した．これは，静止ボールに比べグラウンダーボールのキック動作において，慎重に下肢末端を操作しようとする意識が潜在的に働くためであると考えられた(川本ら,2006)．

3. 体幹・蹴り脚のひねりに関する動き

腰回旋角度は，静止ボールのキック動作，グラウンダーボールのキック動作ともに，L-on から Imp までほぼ一定の値を示しており，これは，L-on ですでに，腰の回旋動作が終了していたためと考えられた．また，

静止ボールのキック動作における腰回旋角度は Nunome et al.(2002)と同様に 120 度前後を示すが、グラウンダーボールの腰回旋角度は静止ボールよりも大きくなっていた。このことから、グラウンダーボールのキック動作では、静止ボールに比べ、体幹部分を、ボールが転がってくる方向に向けたままキック動作行っていることが明らかになった。

4. 体幹の傾きに関する動き

グラウンダーボールのキック動作では、蹴り脚股関節内外転角度において、L-on から Imp まで、常に大きい値を示していたことから、キック方向に向かって左側に体幹を傾けてキック動作を行っていると考えられた。

以上のことから、グラウンダーボールを的に向かって正確にキックしようとする際には、静止ボールのキックに比べ、ボールインパクトの時間的・空間的正確性が低くなりがちであり、正確性が低くなるが故に、キック動作全体がコンパクトになることを示唆するものであった。グラウンダーボールの場合は、ボールが動いているため、インパクトの適切なタイミング、適切なインパクト位置、適切なキック動作にばらつきがあると考えられた。そのため、キック動作のばらつきを大きくしないために動きを小さくしていると考えられた。

第 3 章 右ボールと左ボールのキック動作の比較

第 1 節 研究目的

右ボールと左ボールを比較することにより、異なるボール方向によるキック動作の違いを検討した。

第 2 節 研究方法

被験者、ボール供給器、実験設定については、前章と同じであった。

本章では，3次元動作解析により，ボール方向の違いがキック動作に及ぼす影響を調べた．測定項目は，ボール初速度，蹴り足スイング速度，蹴り脚足部軌跡，蹴り脚足部角度，軸足から蹴り足までの距離・角度，蹴り脚股関節角度・角速度，蹴り脚膝関節角度・角速度，軸脚膝関節角度，腰回旋角度，肩回旋角度，動作時間とした．

第3節および第4節 結果および考察

1. 動作時間，ボール初速度，スイング速度

動作時間については，両動作間に有意差は認められなかった．本研究の動作時間，ボール初速度，スイング速度を先行研究のもの(Levanon and Dapena,1998)と比較したところ動作時間はほぼ同一であったが，ボール初速度，スイング速度ともにより低い値を示した．一般に動作の正確性と動作速度との間には相反関係があると考えられている(Schmidt and Lee,2005)．そのため，ボール初速度とスイング速度が低い値を示した原因としては，Levanon and Dapena(1998)の研究では地面に静止しているボールをキックしたのに対し，本研究では動いているボールに対するキックであり，インパクトの正確性を重視したためである．

また，本研究の結果では，ボール初速度とスイング速度は，実験の指示は同じであったにも関わらず，どちらも左ボールが有意に速かった．スイング速度はボール初速度との間に高い相関関係が認められ，スイング速度が上がればボール速度も増加すること等が明らかになっている(Asami and Nolte,1983; Barfield et al.,2002; Nunome et al.,2006; Taina et al.,1993; Trolle et al.,1993)．左ボールでは，足部軌跡の結果から，キック方向に大きなスイング(動作範囲が広い)を行うことができ，Imp直前での方向にスイングすることにより，足部を加速させていると考えられた．また，僅かに左ボールの方が体幹の捻りを大きく使えてい

ることや、典型的なインサイドキックのような股関節外旋位ではなく、より内旋位でフォワードスイングができていたためスイングしやすく、スイング速度が速くなり、ボール初速度も速くなったと考えられた。

2. 蹴り脚のスイングに関する動き

蹴り脚股関節角度・角速度、蹴り脚膝関節角度・角速度については、右ボールと左ボールのキック動作においてそれぞれ類似した結果であった。しかしながら、蹴り脚股関節角度は 60%time 以降において右ボールよりも左ボールは小さな値を示し、その角速度は、40%time 以降において右ボールよりも左ボールは小さな値を示した。また、蹴り脚膝関節角度については、右ボールよりも左ボールのキック動作の方が伸展しており、その角速度は 70%time から Imp まで左ボールのキック動作の方が大きい傾向を示した。

次に、蹴り脚のスイングと軸足の関係について検討を行った。蹴り脚足部角度は、26%time までは左ボールは右ボールより大きく、その後は小さい値であった。軸足から蹴り足までの距離は、左ボールは右ボールに比べ、常に小さい値を示したが、Imp(100%time)において同じ値を示した。軸足と蹴り足の角度から、左ボールよりも右ボールの方が軸足よりも後方でキックを行っていた。さらに、蹴り脚足部軌跡では、左ボールのキック動作では、Imp 直前で、足部の進行方向は、よりの的方向に向かっていたことに対して、右ボールのキック動作ではボール軌跡の方向に向かっていた。これらから、左ボールのキック動作では、蹴り足を軸足に近づけるようにスイングしつつ、Imp 直前に足部を的的方向にスイングし、軸足の真横付近で Imp を行ったと考えられた。

また、蹴り脚足部角度と腰回旋角度の結果から、左ボールでは、L-on 時に蹴り脚足部角度と腰回旋角度がほぼ一致しており、蹴り脚股関節は

およそ 90° の外転/外旋位である。L-on から Imp に向けてのフォワードスイング中に蹴り脚足部角度が減少していくが、腰回旋角度はほぼ一定であることから、蹴り脚股関節は内転/内旋しながらフォワードスイングを行ったと考えられた。蹴り脚股関節内旋の動きは、右ボールの動作中盤以降にも見られるが、内旋の程度は左ボールの方がかなり大きい。これらのことから、左ボールでは、典型的なインサイドキックのような股関節外転/外旋位によるフォワードスイングではなく (Levanon and Dapena, 1998), より股関節内転/内旋位で解剖学的にフォワードスイングしやすい動きであったと考えられた。さらに、左ボールでは、蹴り脚股関節は 0~90%time まで徐々に内旋しているが、Imp 直前(90%以降)で外旋位が生じていることや、Imp 直前での的方向にスイングしていることから、Imp 直前にインサイドキック特有の“足の内側で真っ直ぐ押し出すような動き”がなされていたと考えられた。左ボールでは動作終盤に足部角度が的方向(90°)よりもかなり小さくなっていることから、キック動作終盤で股関節を外旋し押し出すように真っ直ぐスイングしたと考えられた。

3. 体幹・蹴り脚のひねりに関する動き

腰回旋角度、肩回旋角度の結果から、左ボールでは、右ボールに比べ、両肩と両腰がよりの的方向を向いていた。このことは、左ボールでは、ボールと的の両方を見るため、右ボールよりもよりの的方向に身体を向けるためであると考えられた。

4. 軸脚の動き

軸脚膝関節角度の結果から、左ボール、右ボールともに、L-on から Imp までの角度変化に大きな差は見られなかった。

以上のことから、左ボールの特徴として、右ボールのキックに比べ、

軸足と蹴り足を近づけ、股関節内旋位でフォワードスイングを行い、Imp直前に股関節を外旋させ、足部を的方向にスイングし、軸足の真横付近(軸足と蹴り足の角度がほぼ 90°)でキックしていた。また、左ボールでは、ボールと的の両方を見るため、右ボールよりもよりの方向に身体を向けてキック動作を行っていた。

第4章 右ボールと右後方ボールのキック動作の比較

第1節 研究目的

右ボールと右後方ボールを比較することにより、異なるボール方向によるキック動作の違いを検討した。

第2節 研究方法

被験者、ボール供給器、実験設定、測定項目については、前章と同じであった。的に当たった確率は、右後方ボールでは $40.2 \pm 14.3\%$ (n=12)、右ボールでは $79.2 \pm 19.2\%$ (n=12)であった。

第3節および第4節 結果および考察

1. 動作時間、ボール初速度、スイング速度

動作時間、ボール初速度、スイング速度は、いずれも有意差が認められなかった。このことから、右ボールと右後方ボールでの力の発揮は同様であると考えられた。

2. 蹴り脚のスイングに関する動き

蹴り脚股関節角度・角速度の結果から、右後方ボールでは、後方からボールが転がってくることから、L-on後も股関節を伸展させ、ボールが転がってくるのを待っていたと考えられた。蹴り脚膝関節角度・角速度の結果から、右ボールのキック動作に比べ、右後方ボールのキック動作では、最大屈曲角度が大きく、さらに、角速度は80%timeからImpま

で大きい値を示した。これらの結果から、右後方ボールのキック動作は、キックの予備動作であるバックスイング時、膝関節を大きく屈曲させ、Imp直前の伸展力により、キック動作を行っていると考えられた。

軸足から蹴り足までの距離は、右後方ボールは、右ボールに比べ、Imp直線まで、常に大きい値を示した。また、軸足と蹴り足の角度の結果から、右後方ボールでは軸足より $184.5 \pm 144.1 \text{mm}$ 後方で、右ボールでは軸足より $184.6 \pm 208.6 \text{mm}$ 後方でキックを行っていたことが明らかになった。蹴り脚足部軌跡は、右ボールと右後方ボールともに的方向には向かっておらず、右ボールはボール軌跡の方向に向かっていたのに対して、右後方ボールはそれよりも、さらに右方向に向かっていた。このことは、後方からのボールに対して振り遅れないようにするために、ボールを迎えてインパクトを行うためであると考えられた。

3. 体幹・蹴り脚のひねりに関する動き

腰回旋角度は、右ボールでは、L-on から Imp までほぼ一定の値を示していたのに対して、右後方ボールでは、L-on から Imp に向けて小さい値を示した。インサイドキックにおける腰回旋角度は 120° 前後と報告されている (Nunome et al., 2002) が、本研究においては、 120° より大きい値を示していた。これは、被験者がボールの供給方向に身体を向けていたことが挙げられる。さらに、腰回旋角度と肩回旋角度の結果から、右ボールは腰を回旋させずキック動作を行っていたのに対し、右後方ボールでは、後方から転がってくるボールを前方に設置してある的にキックするため、腰を大きく回旋させてキック動作を行っていると考えられた。

4. 軸脚の動き

軸脚膝関節角度の結果から、右後方ボール、右ボールともに、L-on か

ら Imp までの角度変化に大きな差は見られなかった。この結果から、軸脚の動きは、ボールが出される方向の影響を受けず同じ動きであり、軸脚側には明確な動作は認められなかった。

以上から、右後方ボールでは、的に当たるまでの確率が右ボールに比べ約 40%も低いことから、後方から転がってきたボールを前方に設置してある的に向けてキックを行うことは、難易度が高いキックであると考えられた。また、右後方ボールの特徴として、後方から転がってきたボールをキックするポイントまで待つ(タイミングを調整する)必要がある。そのため、蹴り脚の股関節を屈曲させず、しばらく一定の角度を保ち、タイミングを見計らって(約 60%time)屈曲を開始しているが、これは右ボールと比較して、遅いタイミングでの屈曲となる。また、後方から転がってきたボールを前方にある的にキックするため、腰の回旋を使ってキック動作を行っていた。

第 5 章 総合考察

第 1 節 および第 2 節 本研究の成果と意義および今後の課題

1. 静止ボールとグラウンダーボールのキック動作の比較

本研究の結果、ボール初速度は静止ボールとグラウンダーボールで同程度であったが、スイング速度はグラウンダーボールの方が静止ボールよりも遅かった。蹴り脚股関節角度から、グラウンダーボールは静止ボールのキック動作に比べ、力強く蹴るのではなく、動作をコンパクトにし、コントロール重視のキック動作になった。また、グラウンダーボールは静止ボールのキック動作よりも、グラウンダーボールのキック動作は膝関節の屈曲・伸展力を活用せず、バックスイングを小さくしてキックしていた。次に、腰回旋角度から、体幹部分を、ボールが転がってく

る方向に向けてキック動作を行い，軸脚接地からインパクトまで，キック方向に向かって左側に体幹を傾けてキックしていた．以上のことから，グラウンダーボールのキック動作は静止ボールのキック動作よりも，キック動作全体がコンパクトであった．

これらはグラウンダーボールに対応したキック動作の指標となるものであり，これまで静止ボールのキック動作を基本としてキック動作の指導を行ってきた指導現場に，新たな指標を提供したことは本研究の新たな成果である．

しかしながら，実際のサッカーゲームを想定した場合，様々な方向からのグラウンダーボールに対応したキック動作が求められる．そのため，異なる方向からのグラウンダーボールのキック動作の特性を明らかにするため，右ボールと左ボール及び右後方ボールのキック動作の比較を行った．

2. 異なる方向からのグラウンダーボールのキック動作の比較

右ボールと左ボールの比較においては，左ボールは右ボールのキック動作よりも，ボール初速度とスイング速度が有意に速く，股関節内旋位でフォワードスイングを行っていた．さらに，インパクト直前に股関節を外旋させ，足部を的方向にスイングし，軸足の近距離及び真横付近でインパクトしていた．そして，左ボールは右ボールのキック動作よりも動作全体を通じて，両肩と両腰がよりの的方向に向いており，肩の回旋量は僅かに大きかった．

さらに，右ボールと右後方ボールの比較では，右後方ボールは右ボールのキック動作よりも，キック動作中盤から股関節を屈曲させ，腰の回旋を使ってキック動作を行っていた．これは，いわゆる右後方ボールのキック動作は，指導現場で用いられる「腰を回すキック」であった．そ

して、右後方ボールは右ボールのキック動作よりも、的に当たる確率が低いことから難易度の高いキック動作であった。

このように、本研究においてグラウンダーボールの右ボールと左ボール及び右後方ボールを比較することにより、異なる方向からのグラウンダーボールのキック動作の特性を明らかにした。サッカーのゲーム中は、異なる方向からのグラウンダーボールのキック動作が要求される。そのため、本研究によって明らかになった特性は、キック動作の指導現場に右ボールのグラウンダーボールのキック動作を基準とした異なる方向のグラウンダーボールのキック動作について、新たな指導ポイントを示唆することができると考えられた。

最後に、本研究の結果から、異なる方向からのグラウンダーボールのキック動作の客観的データを用いて特性を明らかにできたことは、キック動作が主要な技術であるサッカーの競技力向上を図る上で、本研究は大きな意義を持つと考えられた。また、本研究によって新たな知見を提示できたことは、キック動作の研究の発展や、キック動作の向上を図る上においても大きな意義を持つと考えられた。

今後の課題として、競技レベルの異なる選手についての検討や、実際の試合の場面を想定した様々な条件での比較検討が必要であろう。

文献

- Asami, T., and Nolte, V.(1983)Analysis of powerful ball kicking. In: Matsui, H., and Kobayashi, K.(Eds.)Biomechanics VIII-B.Human Kinetics: Champaign. pp.695-700.
- Barfield, W. R., Kirkendall, D., and Yu, B.(2002) Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*,3:72-79.
- 川本竜史・宮城修・大橋二郎・深代千之(2006)サッカーのインサイドキックにおける speed-accuracy trade-off のメカニズム. *バイオメカニクス研究*,10:235-244.
- Levanon, J., and Dapena, J.(1998)Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine and Science in Sports Exercise*,30:917-927.
- 布目寛幸・松永一成・山本博男(1997)球種別にみたフリーキック動作の3次元動作分析—日本人一流競技者の事例的研究—. *Japanese journal of sports sciences*,16:105-110.
- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., and Sakurai, S.(2002)Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kick. *Medicine and Science in Sports Exercise*,34:2028-36.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., and Sano,S.(2006)Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*,24:529-541.
- 沖原謙・菅輝・塩川満久・松本光弘・崔喆洵・野地照樹(2000)サンフレッチェ広島 vs.横浜マリノス戦のゲーム分析に関する研究—サッカーにおける“コンパクト”度に関する研究. *サッカー医・科学研究*,20:4-7
- 尾崎宏樹・角南俊介・石井秀幸(2010)フットサルにおける下肢キック動作の運動学的解析. *スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, 188-191.
- Schmidt, R.A. and Lee, T.D. (2005) *Motor control and learning 4th ed*, 207-242, Human Kinetics Publisher.
- 下野智史・磨井祥夫・高橋和文(2005)サッカーにおける直接 FK の動作解析—トップスピンをかけるためのキック技術—. *広島体育学研究*,31:25-33.
- 下野智史・塩川満久・高橋和文・磨井祥夫(2007)ボールの回転軸に着目した直接フリーキックにおける3次元動作解析. *バイオメカニクス研究*,11:25-37.
- Shinkai, H., Nunome, H., Isokawa, M., and Ikegami, Y.(2009)Ball impact dynamics of instep soccer kicking. *Medicine and Science in Sports Exercise*,41:889-897.
- Taina, F., Grehaigne, J., and Cometti, G.(1993)The influence of maximal strength training of limbs of soccer players on their physical and kick performances. *Science and Football II*. In: Reilly, T., Clarys, J., and Stibbe, A.(Eds.)E and FN Spon: London,pp.98-103.
- Trolle, M., Aagaard, P., Simonsen, J., and Bangsbo, J.(1993)Effect of strength training on kicking performance in soccer. *Science and Football II*. In: Reilly, T., Clarys, J., and Stibbe, A.(Eds.)E and FN Spon: London,pp.95-98.